

## ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ

УДК 621.922.04

**Ю.Н. ВНУКОВ**, д-р техн. наук, **А.С. САЛЬНИКОВ**, канд. техн. наук,  
**А.Г. САРЖИНСКАЯ**, Запорожье, Украина

### ИССЛЕДОВАНИЕ АДГЕЗИОННОЙ АКТИВНОСТИ КАРБИДНЫХ И НИТРИДНЫХ ПЛЕНОК К РАЗЛИЧНЫМ МЕТАЛЛАМ И СПЛАВАМ

Робота присвячена дослідженню адгезійної активності карбідних і нитридних плівок до різних металів і сплавів. Розроблено діапазон адгезійної активності розглянутих зсувів. Установлено, що рівень адгезійної активності залежить від атомного радіуса й параметрів кристалічної решітки.

Данная работа посвящена исследованию адгезионной активности карбидных и нитридных пленок к различным металлам и сплавам. Разработан диапазон адгезионной активности рассматриваемых смещений. Установлено, что уровень адгезионной активности зависит от атомного радиуса и параметров кристаллической решетки.

*JU.N. VNUKOV, A.S. SAL'NIKOV, A.G. SARZHINSKAJA*  
*RESEARCH OF ADHESIVE ACTIVITY OF CARBIDE AND NITRID LAYER TO VARIOUS METALS AND ALLOYS*

The research of nitride and carbide depositions adhesive activity to different work materials is shown. Ranges of adhesive activity of considered depositions are developed. It has been assigned that level of adhesive activity of deposition depends on atomic radius and lattice spacing.

В настоящее время около 75 % режущего инструмента различных производителей имеют многослойные защитные покрытия на основе нитрида и карбида титана и других материалов, наносимые методами физического осаждения паров [1]. Такое широкое применение покрытий объясняется тем, что при рациональном использовании они позволяют в значительной мере повысить стойкость режущего инструмента. Повышение стойкости достигается за счет изменения условий трения на контактных поверхностях инструмента вследствие уменьшения их адгезионной активности по отношению к обрабатываемому материалу. Таким образом, адгезионная активность контактных поверхностей инструмента является ключевой характеристикой при выборе оптимального покрытия для обработки того или иного материала.

Для оценки адгезионной активности карбидных и нитридных пленок использовался метод, подробно описанный в работе [2]. Он позволяет при помощи трибометра осуществлять измерение сил, возникающих на границе раздела ювенильных поверхностей покрытия и обрабатываемого материала при пластических деформациях последнего. Другими словами, из-

меряется приращение сил трения при образовании металлических связей (схватывании), возникающих на граничных поверхностях в условиях постоянного увеличения площади контакта. В качестве обрабатываемых материалов были выбраны конструкционная сталь 45, нержавеющая сталь аустенитного класса 12X18H10T и высокочистый титан ВТ-1-00.

Полученные экспериментально-расчетным путем коэффициенты относительной адгезионной активности сопряженных систем «карбид MeC/обрабатываемый материал» и «нитрид MeN/обрабатываемый материал» представлены в табл. 1 и 2. Для каждой пары выполняли в среднем от 4 до 6 экспериментов. Результаты экспериментов подвергали обработке методами математической статистики [3]. Определяли среднеквадратичное отклонение  $\sigma_n$ , коэффициент вариации  $V$  и доверительный интервал  $\pm \Delta$ .

Таблица 1 – Коэффициент относительной адгезионной активности карбидов к стали 45 и 12X18H10T

Инструментальный материал		Обрабатываемый материал					
		Сталь 45			12X18H10T		
		$\Delta F / S_{cp}$	$\pm \Delta$	$K_{адг}$	$\Delta F / S_{cp}$	$\pm \Delta$	$K_{адг}$
Р6М5 (эталон)		0,140	0,016	1,00	0,35	0,025	1,00
То нк ие пл ен ки	TiC	0,081	0,014	0,58	0,096	0,013	0,27
	ZrC	0,345	0,020	2,46	0,478	0,035	1,37
	HfC	0,299	0,013	2,14	0,831	0,026	2,37
	VC	0,147	0,013	1,05	0,082	0,010	0,23
	NbC	0,035	0,004	0,25	0,232	0,030	0,66
	CrC	0,073	0,021	0,52	0,16	0,023	0,46
	Mo2C	0,006	0,001	0,04	0,082	0,008	0,23

Таблица 2 – Коэффициент относительной адгезионной активности нитридов к стали 45 и 12X18H10T

Инструментальный материал		Обрабатываемый материал					
		Сталь 45			12X18H10T		
		$\Delta F / S_{cp}$	$\pm \Delta$	$K_{адг}$	$\Delta F / S_{cp}$	$\pm \Delta$	$K_{адг}$
Р6М5 (эталон)		0,140	0,015	1,00	0,35	0,034	1,00
То нк ие пл ен ки	TiN	0,046	0,008	0,33	0,07	0,016	0,20
	ZrN	0,100	0,005	0,71	0,28	0,040	0,80
	HfN	0,075	0,010	0,54	0,27	0,017	0,77
	VN	0,052	0,002	0,37	0,08	0,014	0,23
	NbN	0,0085	0,002	0,06	0,226	0,029	0,65
	CrN	0,072	0,017	0,51	0,178	0,024	0,51
	Mo2N	0,115	0,010	0,82	0,115	0,026	0,33

На основании выполненных исследований трения в условиях схватывания были построены ряды адгезионной активности карбидов и нитридов переходных металлов к различным металлам и сплавам.

Ряд адгезионной активности карбидов к стали 45 в порядке ее возрастания будет иметь вид:

$\text{Mo}_2\text{C}$ ,  $\text{NbC}$ ,  $\text{CrC}$ ,  $\text{TiC}$ ,  $\text{P6M5}$ ,  $\text{VC}$ ,  $\text{HfC}$ ,  $\text{ZrC}$  / сталь 45.

Соответственно, к стали 12X18H10T:

$\text{VC}$ ,  $\text{Mo}_2\text{C}$ ,  $\text{TiC}$ ,  $\text{CrC}$ ,  $\text{NbC}$ ,  $\text{P6M5}$ ,  $\text{ZrC}$ ,  $\text{HfC}$  / 12X18H10T.

В связи с тем, что титан обладает повышенными свойствами схватывания, при измерении силы трения тонкая пленка исследуемого карбида разрушается на шаровом образце. Поэтому было выполнено ограниченное число экспериментов, и на основании их результатов записан ряд активности, который имеет приближенный вид:

$\text{Mo}_2\text{C}$ ,  $\text{CrC}$ ,  $\text{NbC}$ ,  $\text{VC}$ ,  $\text{TiC}$ ,  $\text{HfC}$ ,  $\text{ZrC}$  / титан.

Анализ полученных результатов свидетельствует, что карбид молибдена  $\text{Mo}_2\text{C}$  обладает аномально низким схватыванием со сталью 45. Если коэффициент адгезии стали P6M5 к стали 45 принять за 1, то  $K_{адг}$  карбида молибдена равен 0,04, т.е. применение пленки  $\text{Mo}_2\text{C}$  в двадцать пять раз снижает схватывание инструмента с обрабатываемым материалом.

Карбид ниобия имеет относительно низкое схватывание с конструктивными углеродистыми сталями ( $K_{адг} = 0,25$ ) и проявляет достаточно высокое схватывание с нержавеющей сталью аустенитного класса ( $K_{адг} = 0,66$ ). Карбид ванадия наоборот, сильно схватывается с углеродистыми сталями ( $K_{адг} = 1,05$ ) и обладает низкой адгезионной активностью к нержавеющей стали ( $K_{адг} = 0,23$ ).

Карбид хрома в среднем в 2 раза снижает схватывание инструмента с обрабатываемыми материалами – сталями 45 и 12X18H10T.

Карбид титана имеет невысокое схватывание с нержавеющей сталью ( $K_{адг} = 0,27$ ) и повышенную адгезионную активность к углеродистым сталям ( $K_{адг} = 0,58$ ).

В результате выполненных исследований выявлена связь адгезионной активности с межатомными расстояниями сопряженных материалов. Карбиды  $\text{HfC}$  и  $\text{ZrC}$ , имеющие наиболее высокие значения радиуса атомов и периодов решетки, демонстрируют постоянно высокое схватывание со всеми исследуемыми обрабатываемыми материалами.

Ряд адгезионной активности нитридов переходных металлов к стали 45 имеет следующий вид:

$\text{NbN}$ ,  $\text{TiN}$ ,  $\text{VN}$ ,  $\text{CrN}$ ,  $\text{HfN}$ ,  $\text{ZrN}$ ,  $\text{Mo}_2\text{N}$ ,  $\text{P6M5}$  / сталь 45

Соответственно, ряд активности нитридов к нержавеющей стали аустенитного класса 12X18H10T:

$\text{TiN}$ ,  $\text{VN}$ ,  $\text{Mo}_2\text{N}$ ,  $\text{CrN}$ ,  $\text{NbN}$ ,  $\text{HfN}$ ,  $\text{ZrN}$ ,  $\text{P6M5}$  / 12X18H10T.

По причине разрушения пленок из-за высокого схватывания с титаном ряд активности нитридов к нему представлен ориентировочно:

CrN, VN, NbN, Mo<sub>2</sub>N, TiN, HfN, ZrN / титан

Анализ результатов исследований показывает, что нитрид ниобия NbN обладает аномально низким схватыванием с углеродистыми сталями, наряду с высокой адгезией к стали 12X18H10T.

Нитрид титана TiN имеет самую низкую, из всех исследованных нитридов, адгезионную активность к нержавеющей стали 12X18H10T и проявляет невысокое схватывание с конструкционным сталям. Это является одной из причин эффективного использования покрытия из нитрида титана при обработке сплавов на основе железа. Нитрид титана, также как и карбид TiC, проявляет повышенную адгезионную активность к титану, что объясняется сродством контактируемых пар. Минимум схватывания с титаном получен для нитрида хрома CrN, что указывает на перспективы его использования в качестве верхних поверхностных слоев при обработке материалов на основе титана.

Сравнение результатов исследования схватывания карбидов и нитридов переходных металлов, показывает, что карбиды проявляют более высокую адгезионную активность к различным металлам и сплавам. Этим подтверждаются выводы, согласно которым карбиды сильнее, чем нитриды, проявляют металлический тип связи и сильнее схватываются с металлами. В частности, сравнение данных схватывания тугоплавких соединений титана, наиболее применяемых в качестве защитных поверхностных слоев, указывает на то, что карбид TiC в 1,75 раз выше проявляет адгезионную активность в отношении углеродистых сталей, чем нитрид. TiN.

Полученные результаты исследования адгезионной активности нитридов и карбидов тугоплавких соединений свидетельствуют о преобладающем влиянии на схватывание межатомных расстояний (радиус атома, период решетки) контактирующих материалов. Нитриды циркония и гафния, например, имеющие наиболее высокие значения периода решетки среди нитридов, обладают повышенной адгезионной активностью ко всем рассмотренным обрабатываемым материалам.

**Список использованных источников:** 1. Von den Berg H. *et al.* Влияние внутренних напряжений покрытий на износ инструмента // *Werkslatt und Betrieb*. - 2005. - V. 138. Nr. 9 – С. 50-54. 2. Внуков Ю.Н. Нанесение износостойких покрытий на быстрорежущий инструмент / Ю.Н. Внуков, А.А. Марков, Л.В. Лаврова. — К.: Техніка, 1992. — 143с. 3. Кацев П.Г. Статистические методы исследования режущего инструмента / Кацев П.Г. - М.: Машиностроение, 1968. - 155с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Von den Berg H. *et al.* Vlijanie vnutrennih naprjazhenij pokrytij na iznos instrumenta // *Werkslatt und Betrieb*. - 2005. - V. 138. Nr. 9 – S. 50-54. 2. Vnukov Ju.N. Nanesenie iznosostojkih pokrytij na bystrorezhuwiy instrument / Ju.N. Vnukov, A.A. Markov, L.V. Lavrova. — K.: Tehnika, 1992. — 143s. 3. Kacev P.G. Statisticheskie metody issledovanija rezhuwego instumenta / Kacev P.G. - M.: Mashinostroenie, 1968. - 155с.